第 9 卷 第 1 期
2017 年 2 月

土木建筑工程信息技术
Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture

Vol. 9 No. 1
Feb. 2017

乌东德水电站枢纽工程 BIM 设计与应用

李小帅 张 乐

(长江勘测规划设计研究院,武汉 430010)

【摘 要】乌东德水电站枢纽工程基于我院 CATIA 三维协同设计平台,嵌入设校审过程管理机制,融入 BIM 标准体系,开展了数字化勘测与地质、水工、桥隧、建筑、机电、金结、施工总体等多专业 BIM 设计建模。在工程勘测设计的不同阶段开展"方案比选与论证、参数化精细设计建模、有限元计算分析、多专业错漏碰检查、工程量自动统计、三维配筋、二维出图、施工组织设计仿真、视觉传达"等多方位的专业性 BIM 应用工作,重点研发解决了地质三维模型快速剖切成图、水工结构三维设计出图、复杂异形结构三维配筋出图等难题。

【关键词】三维协同设计平台; 设校审; 数字化勘测; 三维配筋
【中图分类号】TU17 【文献标识码】A 【文章编号】1674 -7461(2017)01 -0007 -07
【DOI】10.16670/j.cnki.cn11 -5823/tu.2017.01.02

1 工程概况

1.1 项目简介

乌东德水电站坝址位于四川省会东县和云南省禄劝县交界的金沙江下游河道上。电站上距攀枝花市 213.9km、下距白鹤滩水电站 182.5km,下距重庆市 928km。坝址控制流域面积 40.6 万 km^2,占金沙江流域面积的 86%,占长江宜昌以上流域面积 40% 以上。电站开发任务以发电为主,兼顾防洪。

乌东德水电站正常蓄水位 975m,坝顶高程 988m,最大坝高 270m(世界第 5 高拱坝),总库容 74.08 亿 m^3,装机容量 10 200MW(世界第 5),工程静态总投资为 789 亿元,为 I 等大(1)型工程。枢纽工程主体建筑物由混凝土双曲拱坝、坝身 5 个表孔和 6 个中孔、右岸 2 条泄洪洞、两岸地下电站等组成。乌东德水电站枢纽工程 CATIA 三维勘测设计模型及效果图见图 1。

1.2 工程特点和难点等

乌东德水电站工程规模大,创造许多世界之最,是目前世界上最薄的 300m 级双曲拱坝,拥有世界最高的地下厂房(89.8m),大坝单位坝顶弧长泄量世界第一,导流洞开挖断面世界第一,导流洞高度世界第一; 尾水洞调压室开挖半径世界第一,是首个坝身不设导流底孔的高拱坝,首个采用半圆筒型调压室的水电站。乌东德水电站工程设计深度全面,技术难度巨大; 施工条件复杂,技术难度高,建设工期紧张; 参建单位众多,协调工作繁琐; 涉移民、环保水保等专业领域,是一项规模宏大的系统性工程。

2 BIM 组织与应用环境

2.1 BIM 应用目标

乌东德水电站枢纽工程基于我院初步构建的集地质、水工、桥隧、建筑、机电、金结、施工总体等多专业于一体的三维协同设计集成化平台,融合传统勘测设计模式,建立了多专业三维勘测设计模型,在工程勘测设计的不同阶段开展"方案比选与论证、参数化精细设计建模、有限元计算分析、多专业错漏碰检查、工程量自动统计、三维配筋、二维出

【基金项目】 水利部技术示范项目"水利工程勘测设计三维协同技术示范应用"(编号:SF -201717);长江设计公司自主创新项目"水电工程全过程三维勘测设计技术研究与开发(一期)"(编号:CX2015Z24)
【作者简介】 李小帅(1982 -),男,高级工程师,硕士,室主任,主要从事水利水电工程及建筑、市政工程 BIM 设计技术研发与推广应用工作;张乐(1988 -),男,工程师,硕士,主要从事水利水电工程及建筑、市政工程 BIM 设计技术研发与推广应用工作。

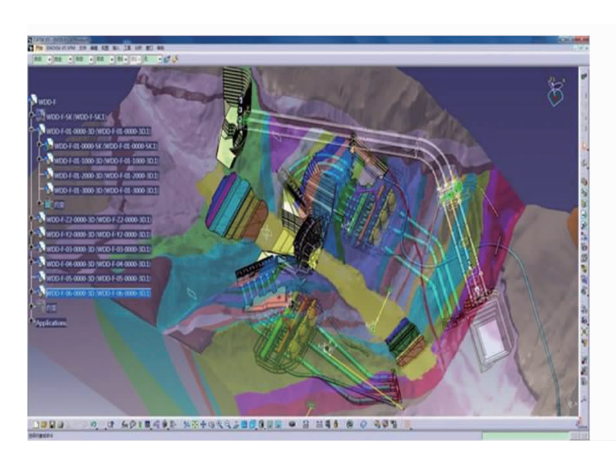
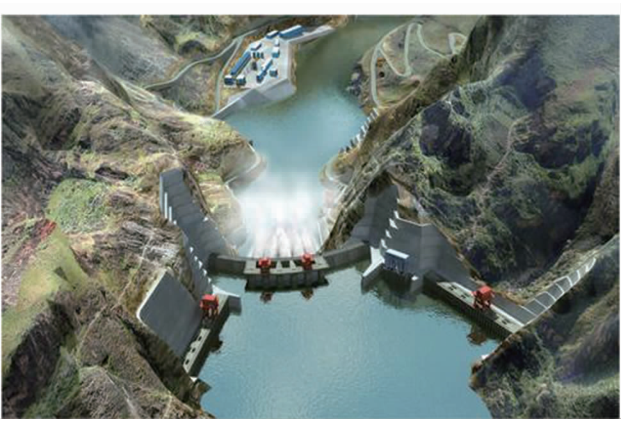



图 1 乌东德水电站枢纽工程 CATIA 三维勘测设计模型与效果图

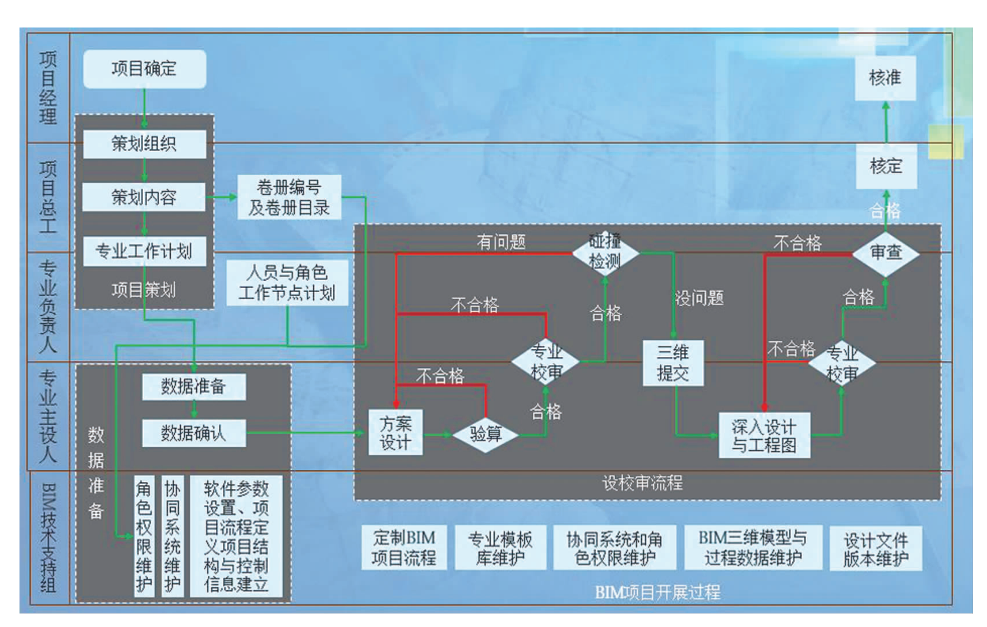


图 2 三维协同设计过程管理

图、施工组织设计仿真、视觉传达”等多方位的专业性工作，助力工程整体设计质量与效率的提升，为业主提供更为优质的设计产品与咨询服务。

2.2 实施方案

乌东德水电站枢纽工程三维勘测设计为长江设计院 BIM 设计先驱项目，本项目通过 GOCAD 读取工程地质数据库，并在 GOCAD 中进行三维地质建模，通过二次开发插件，将 GOCAD 三维地质模型连同属性导入 CATIA 平台，作为枢纽布置设计上游主要数据源之一。并基于 CATIA 平台通过骨架关联设计技术与数据接口融合技术把水电工程多专业集于统一的数据源进行三维协同设计与应用。

2.3 团队组织

本项目由项目经理牵头，项目副经理、总工及项目 BIM 助理负责组织开展多专业三维协同设计应用工作，包括任务策划与分解、人员确定与分工、协调与组织实施，三维协同设计过程管理程序见图 2。下设专业设计组、BIM 技术支持组和二次开发组。专业设计组包括专业负责人、专业主设人，涉及测量、地质、坝工、厂房、导流、机电、金属结构等专业，其中坝工专业为牵头专业，负责项目三维设计整体的技术协调。BIM 技术支持组负责平台维护，并对专业设计组在三维设计过程中遇到的重难点软件技术问题进行技术支持，同时梳理多专业共性、单专业特性需求并提交二次开发组，根据优先级进行针对性二次开发与定制后，反馈于 BIM 技术支持组与专业设计组进行迭代测试与使用，整个团队协作运行。

其中专业设计组、BIM 技术支持组和二次开发组大部分人员具备专业设计与 BIM 应用及研发的复合能力，为项目的推进提供了强有力的技术人才保障。

2.4 应用措施

乌东德水电站枢纽工程 BIM 设计实施继承勘测设计的设校审机制，施行我院现有的 BIM 设计标准体系，主要包括：《水利水电工程三维设计过程管理程序》、《水利水电工程三维协同设计文件编码规则》、《水利水电工程三维地质建模规定》、《CATIA 水工结构三维设计技术指南》、《CATIA 水工结构三维设计出图规定》、《基于 CATIA 的水利水电工程模板入库条件与管理通则》等院企业标准。

2.5 软硬件环境等

我院以 CATIA 为三维协同设计基础平台，目前在不同程度上打通了各类具有本专业优势的设计专用软件（表 1）与 CATIA 的数据接口融合，持续提高平台的软件接口集成化与协同化程度。

通过企业私有云架设基于网络的三维协同设计基础平台，配置 Dell PowerEdge 系列数据库服务器、Dell 图形工作站等，保证了图形显示和运算效率。

表 1 各专业软件配置情况

专业	软件
空间信息	Arcgis、Skyline 等
地质	GOCAD、3D－GVS（自主研发）、CATIA 等
水工	CATIA、三维配筋（自主研发）、Ansys 等
机电	CATIA（水机、电气、暖通）、博超（输变电）等
施工总体	CATIA、Surpac、纬地等
建筑/市政交通	Autodesk REVIT、Civil 3D、PKPM、Midas 等
虚拟现实相关	3dsMax、VEGA、Naviswork、Composer 等

3 BIM 应用

3.1 BIM 建模

乌东德水电站枢纽工程在预可研、可研、施工详图等各设计阶段，基于 CATIA 基础平台及专业软件开展了地质、坝工、电站建筑物、导流、机电与金结等多专业三维协同设计，不同设计阶段有逐步求精的模型深度等级。

（1）三维数字化勘测与三维地质建模

乌东德水电站通过平板式工程地质测绘系统和平板式钻孔地质信息录入系统完成了 13 000m 勘探平洞和 150 多个、近 26 000m 的地质钻孔。

在前期勘测阶段，现场实测地质数据如地质点、勘探点等数据按标准格式，现场即时录入平板电脑，并及时发送到工程地质数据库，从源头上解决数据录入问题，大幅提高地质勘测效率。

在后期施工阶段，通过施工地质可视化快速编录系统，现场直接完成施工地质编录工作，生成施工地质照片为底板的施工地质编录图，还可以将编录内容与照片转入三维模型，并及时发送到工程地质数据库，能够提供更为详细的三维地质施工解译成果。

从工程地质数据库中读取测绘点、钻孔、平洞等地形地质数据并自动导入 GOCAD 中，结合 ArcGis 技术，构建高精度三维地质模型（图 3）后，连同地质属性信息导入至 CATIA 基础平台中，进行后续枢纽布置等多专业三维协同设计。

（2）枢纽工程总骨架与专业子骨架创建

基于地质三维模型，充分利用三维可视化的优势，进行坝址坝线坝型比选，布置导流洞、引水发电建筑物等关键控制点与轴线，并建立枢纽工程主要建筑物三维参数化模型，进行空间分析与优化布置。根据枢纽布置结果，完善总体和专业子骨架。通过骨架关联设计技术、协同技术与权限管理机制保证了上下游专业设计数据关联、一致和及时变更。

（3）坝工专业复杂形体精细化设计

通过 ADAO 程序进行拱坝形体方案设计，生成形体参数设计表并对接 CATIA 拱圈三维模板快速完成各高程拱圈曲线，拟合成拱坝基本体型。结合三维模板完成表孔、中孔、结构分缝、混凝土分区及坝体廊道的设计与优化，过程见图 4。

（4）电站建筑物与导流专业全程模板化三维设计

基于地质模型，电站建筑物专业采用“骨架＋模板”的方法完成地下式引水发电建筑物三维设计整体模型，导流专业采用类似的方法完成了导截流建筑物的三维设计建模，见图 5。

（5）机电（电一、电二、水机、暖通）多专业三维协同设计

机电专业参照地下式引水发电建筑物中的主厂房、调压室、主变洞等三大洞室土建结构，调用机电标准件库，进行机电管路和设备等综合布置设计（图 6）。

土木建筑工程信息技术
Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture

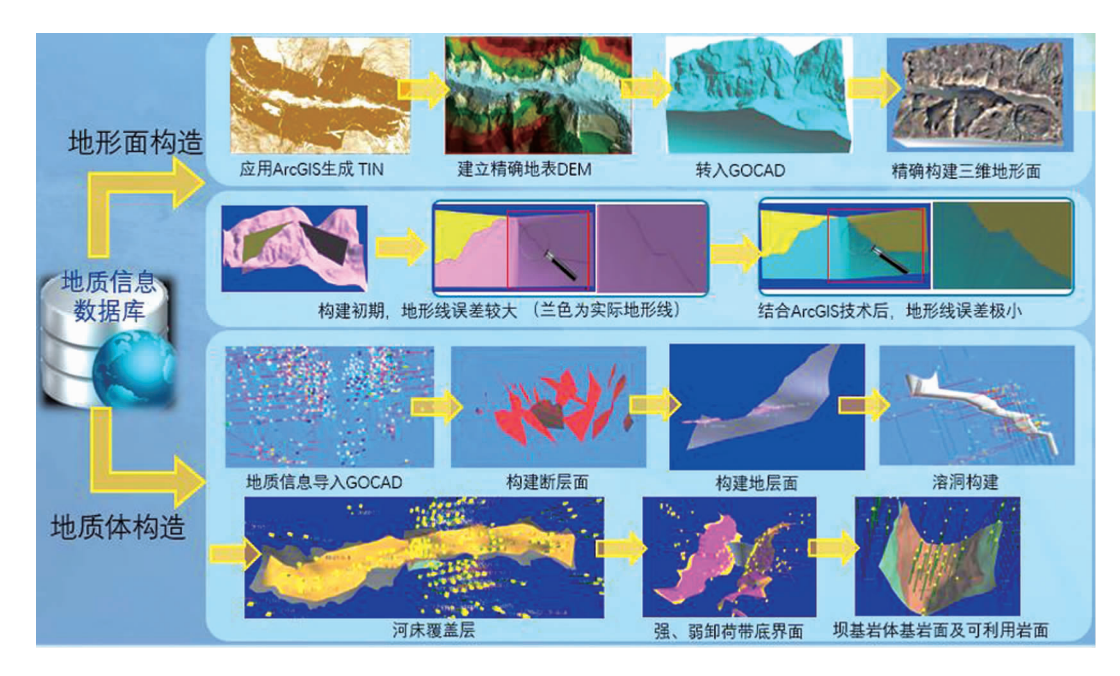


图 3　高精度地质三维模型构建过程

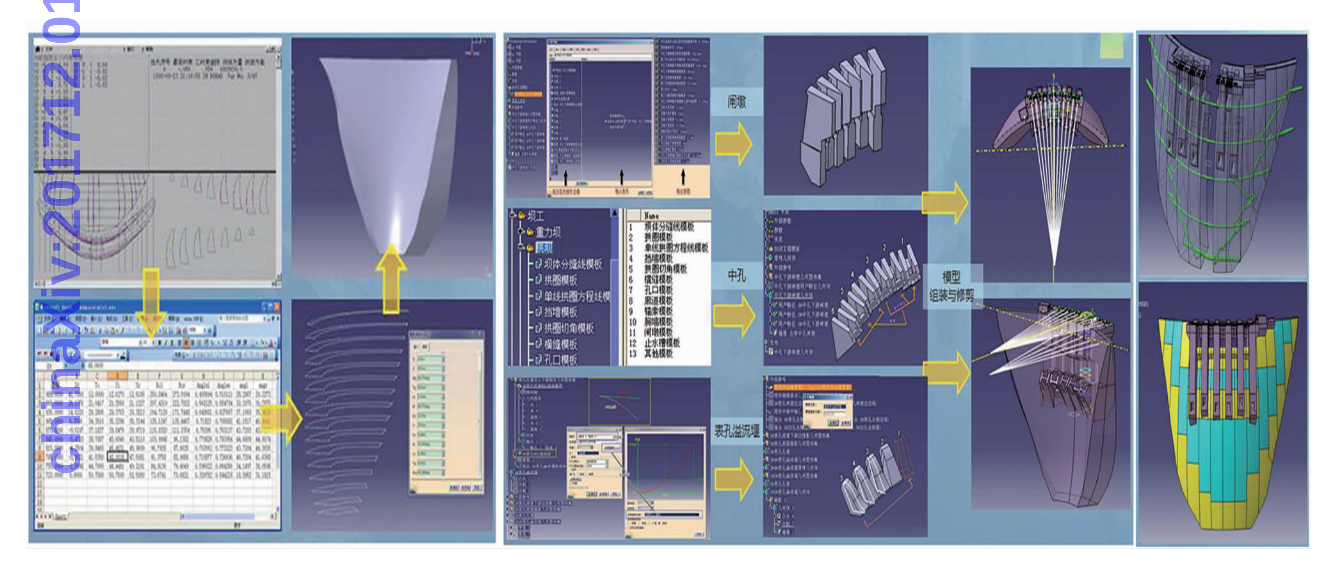


图 4　双曲拱坝三维设计过程

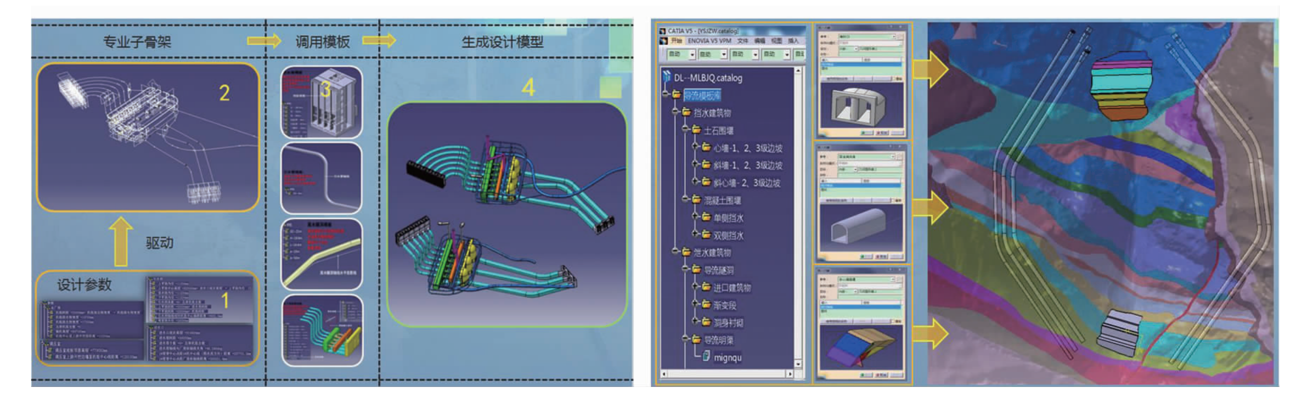
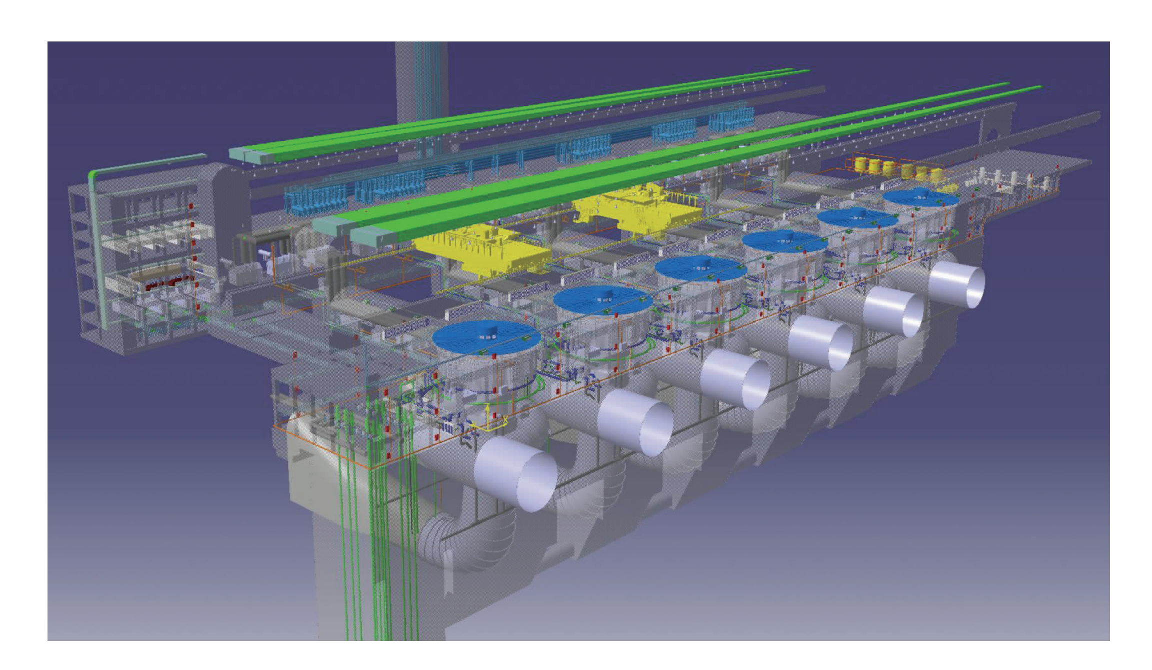


图 5　地下式引水发电建筑物和导截流建筑物全程模板化三维设计


图 6　机电多专业三维协同设计

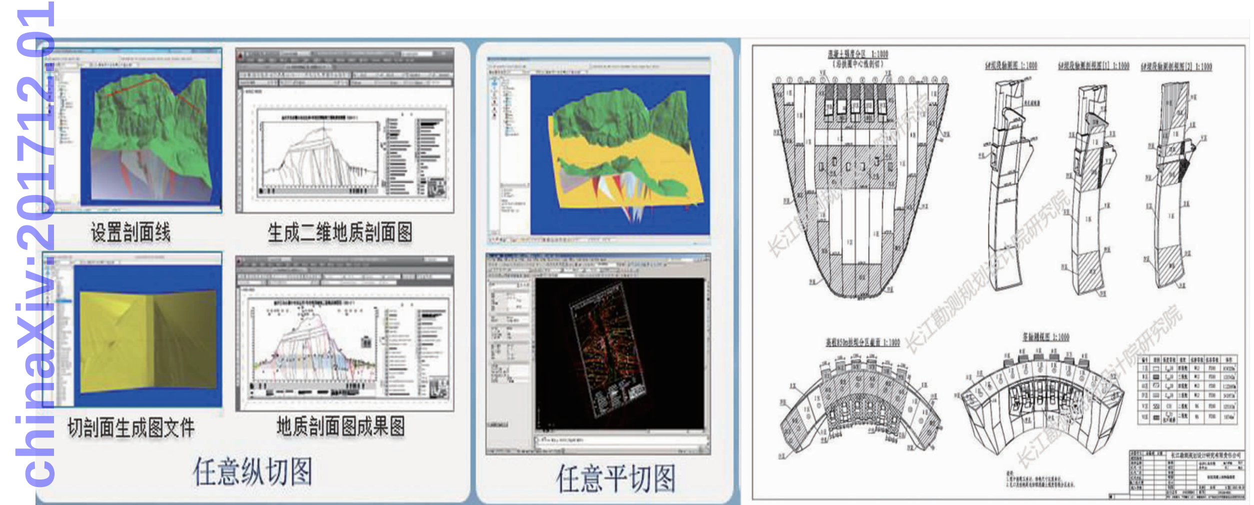


图 7　地质剖面出图　　图 8　结构出图

3.2　BIM 应用情况

(1)碰撞检测

机电多专业通过碰撞检测工具进行错、漏、碰检查,形成碰撞检测报表并可自动定位到有问题的位置,及时进行方案调整与优化。

(2)工程量统计

通过三维设计可一次性精确获取模型的各种参数如数量、质量、形心等,省去了人工算量的过程,尤其是解决了对复杂异性结构工程算量精度低下、机电设备明细统计过程繁琐的难题。

(3)计算分析

初步形成三维设计模型到分析计算模型的简化准则,提高分析计算前处理效率。

(4)地质出图

基于 GOCAD 高精度三维地质模型,任意布设平切面和纵剖面,快速切剖生成地质剖面图(图 7)和等值线图。

(5)结构出图

通过我院自主研发的 CATIA 水工结构三维设计二维出图技术解决方案,通过三维模型抽取二维图与轴侧图,尤其是提高了复杂曲面结构的出图表达质量(图 8)。

(6)三维配筋出图

将模型导入到我院自主研发的三维配筋软件

中，基于计算分析结果，进行交互式三维配筋，剖切出图并自动生成钢筋表（图 9），特别对于复杂曲面结构能够显著提高钢筋图出图效率。

（7）机电出图

提出二三维混合、结构图叠加效果图的出图表达理念（图 10）并应用。

（8）基于模型的延伸应用

开发了交互式三维演示系统，结合虚拟现实引擎进行场景实时渲染，提供交互式体验（图 11）；进行坝址区模型 3D 打印，采用 LOM 技术一次性打印成型（图 12）。

4 应用效果

通过乌东德水电站枢纽工程 BIM 设计的实施，积累了融合设计经验和规则的三维模板库。其中，水工参数化模板库扩充至 500 量级，机电专业标准件库扩充至 2 万量级。

基本打通了三维设计二维出图环节，提高了设计质量与效率，包括地质剖面图、水工结构图与钢筋图、机电三维图。基于三维地质模型的剖面出图效率相比传统模式提高 3.5 倍，三维设计结构出图率达 30%～35%，三维配筋出图率高达 80%。

发现并解决了机电与厂房土建结构以及机电专业内部之间的碰撞干涉问题，在机电专业内部共检查出 42 处碰撞问题，机电专业和厂房专业间共检查出 12 处碰撞问题，均以较快的速度优化了达到设计要求的方案。

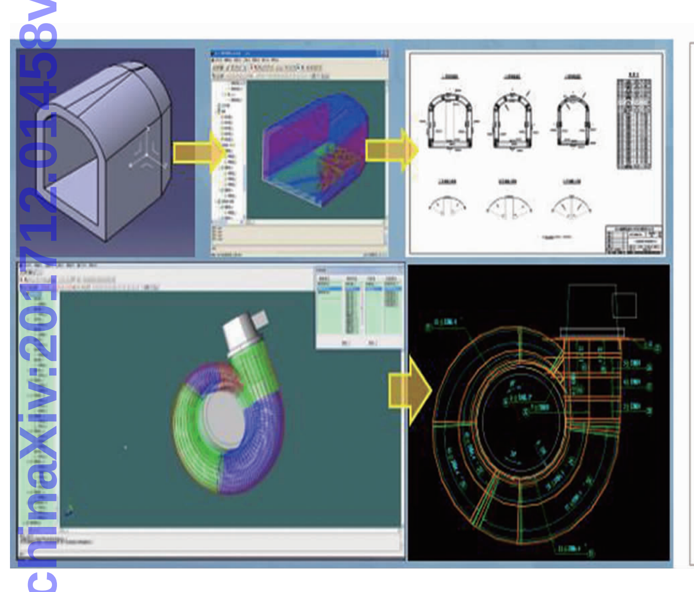


图 9　三维配筋出图

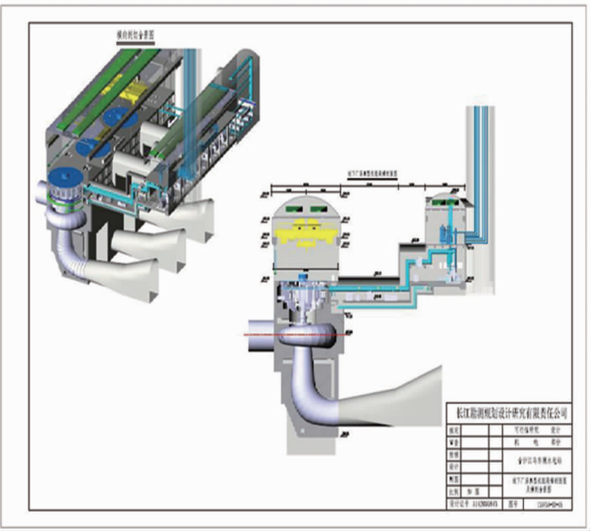


图 10　机电出图

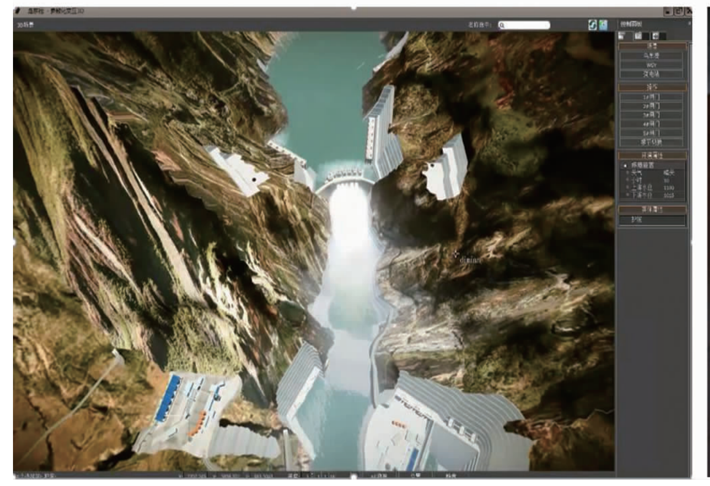


图 11　交互式三维演示系统

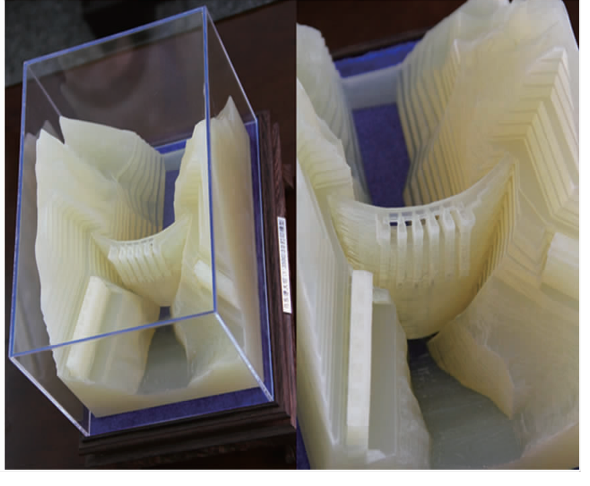


图 12　3D 打印模型（精度 0.1mm）

5 总结

5.1 创新点

(1)将我院《水利水电工程三维协同设计过程管理程序》内嵌至 CATIA 平台,保证项目 BIM 设计工作有序开展;

(2)以水利水电工程制图基础标准和工程制图学原理为基础,研发了基于 CATIA V5 的水工结构三维设计出图解决方案,基本解决了由水工结构三维设计模型向二维工程图生成过程中出现的技术难题;

(3)研发基于三维地质模型剖切快速生成标准地质剖面图,减少大量的图形后处理工作量,大幅提高出图效率;

(4)研发并解决了针对复杂曲面水工结构三维配筋自动算量与出图的难题;

(5)总结形成水工结构建模、计算分析、配筋出图一体化应用流程。

5.2 经验教训

(1)基于我院 BIM 标准体系有待全面完善;

(2)三维协同设计平台尚未有效与我院项目管理平台对接,存在信息脱节现象;

(3)部分专业数据融合深度不够,接口有待研发;

(4)地质与水工专业在 CATIA 平台尚不能有效的联合出图,一定程度上限制了三维设计出图模式的覆盖广度。

参考文献

[1] 段建肖,廖立兵,肖鹏等. GOCAD 三维地质建模成果的二次开发及应用研究[J]. 人民长江,2015(14):51-54.
[2] 汪亚超,李小帅,黄艳芳等. 基于 CATIA 的水工结构制图标准控制方法研究[J]. 人民长江,2014,45(1):77-81.
[3] 万云辉,李小帅,钱富运等. 三维勘测设计技术在水利水电工程中的应用研究[J]. 长江科学院院报,2015(7):137-142.
[4] 李小帅,万军,黄艳芳等. CATIA V5 环境下水电工程三维可视化仿真场景中的应用研究[J]. 长江科学院院报,2012,29(12):113-118.
[5] 刘会波,杨新军,李军等. 蜗壳及尾水管复杂空间曲面三维布筋方法及应用[J]. 人民长江,2015(16):34-37.

WuDongDe Hydropower Station BIM Design and Application

Li Xiaoshuai, Zhang Le

(*Changjiang Institute of Survey, planning, design & Research*, *Wuhan* 430010, *China*)

Abstract: Wudongde Hydropower Station BIM design model is based on the 3D collaborative design platform of CATIA, which integrates with design-check-review(DCR) process management and BIM standard system. The BIM design model involves multi-major, such as digital survey and geology, hydraulic engineering, bridge and tunnel, building, electromechanical, metal structure, construction and so on. During different phases of engineering survey and design, scheme comparison and demonstration, parametric design modeling, finite element analysis, collision detection, engineering automatic statistics, 3D rebar design, 2D drawing, construction simulation and visual performance are carried out based on the BIM design model. The 2D drawing problems from 3D geological model, hydraulic structure model and complex shaped structure 3D rebar design model have been focused and resolved.

Key Words: 3D Collaborative Design Platform; Design-check-review(DCR); Digital Survey; 3D Rebar Design